

넷제로 (Net Zero)  
윤석열 정부  
전력산업정책이  
가야할 길

주최 | 국회의원 양이원영  
주관 | 산경에너지/산경e뉴스

# 인사말



## 양이원영

더불어민주당 국회의원/산업통상자원중소벤처기업위원회위원

반갑습니다! '바람과 해를 담은 정치' 더불어민주당 국회의원 양이원영입니다. 탄소중립사회(Net-Zero)시대를 열고 다음세대를 위한 전력산업정책 방안을 논의하기 위해 오늘 이 자리에 함께 해주신 모든 분께 깊은 감사의 말씀을 전합니다. 창간 10주년을 맞이하는 '산경에너지/산경e 뉴스'에게도 축하의 인사를 드립니다.

미국 국립해양대기청(NOAA)이 발표한 자료에 따르면, 2022년 5월 세계 이산화탄소 농도는 421ppm으로 역대 최고치를 기록했습니다. 산업혁명 이전 이산화탄소 농도는 280ppm 수준이었는데, 그 이후 50% 가까이 급증한 것입니다.

EU를 비롯해 독일, 영국, 일본 등 각국에서는 2050-2060 탄소중립을 선언하고, 2030년 온실가스 감축 목표를 상향 조정했습니다. 이처럼 전세계는 Net-Zero 사회로의 변화에 박차를 가했습니다.

탄소중립사회를 위해 전력산업정책의 변화는 매우 중요합니다. 윤석열 정부는 제10차 전력수급 기본계획에서 문재인 정부가 설정한 NDC수정안의 재생에너지 발전 비중을 대폭 낮췄습니다. 재생에너지 발전 비중은 8.6% 줄이고, 원전은 8.5%, 석탄과 LNG 등 화석연료의 비중은 1.3% 늘렸습니다. 전 세계가 탄소배출 저감을 위해 재생에너지 확대를 고민하고 있는데, 윤석열 정부만 글로벌 트렌드를 역행하고 있는 것입니다.

---

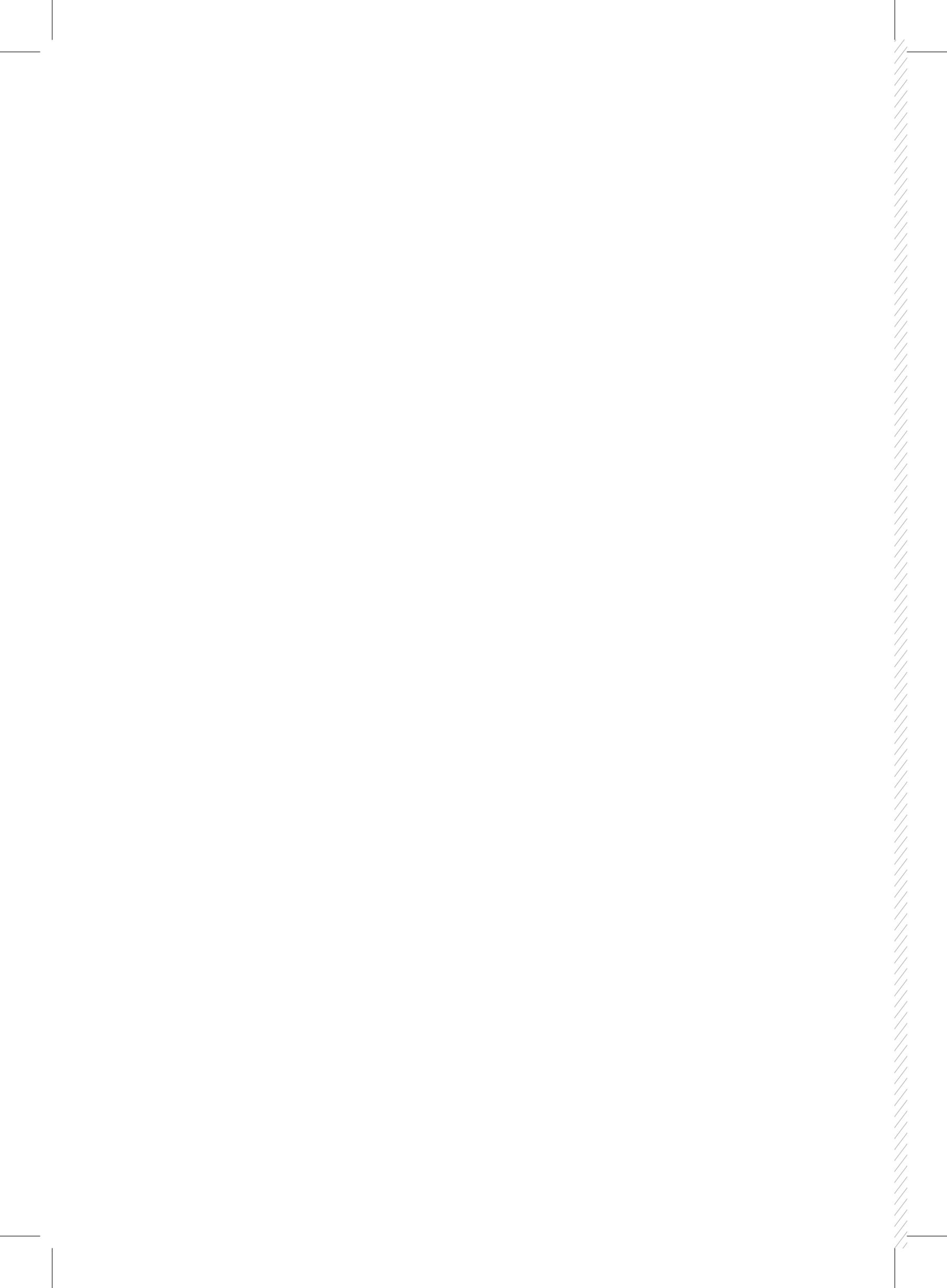
탄소중립사회로의 전환은 우리나라 에너지산업 발전의 전환점이자 다음세대를 위한 정의로운 전환이 될 수 있습니다. 오늘 이 토론회가 역행하고 있는 윤석열 정부 전력산업정책에 대한 고언과 바람직한 방향을 위한 현명한 지혜가 모이는 토론회가 되길 기대합니다. 아울러 토론회 준비에 애써주신 산경에너지/산경e뉴스 관계자분들께도 마음을 담아 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

2023년 7월 7일  
국회의원 양이원영



# 세부일정

시 간	주 요 내 용
10:00~10:05 (5분)	개회 및 참석자 소개
10:05~10:15 (10분)	인사말
10:15~10:40 (25분)	[주제발표1] 복합 에너지위기와 전력가스시장의 구조개편 석광훈(에너지전환포럼 전문위원)
10:40~11:05 (25분)	[주제발표2] 전력산업 메카니즘 변화와 기후위기 시장 선도 전략 황우현(서울과학기술대학교 교수)
11:05~11:45 (40분)	[패널토론1] 원자력산업의 미래 이정윤(산업통상자원부 전 에너지위원) [패널토론2] 기후위기에 대응하는 전력·에너지산업 구조 안현효(대구대학교 교수)
11:45~12:00 (15분)	종합토론(질의응답)
12:00	정리 및 폐회



# 복합 에너지위기와 전력가스시장의 구조개편



주제발표

**석광훈**

에너지전환포럼 전문위원



# 1. 복합에너지위기의 현실

---

3

## 1) 미증유의 한전, 가스공사 적자

- 한전 누적적자 46조원, 가스공사의 누적적자 10.2조원
  - 한전 대주주인 산업은행도 채권발행으로 올해 이자비용만 10조원 전망
- 현 추세대로라면 한전 누적적자는 연말 정부예산의 10% 초과
  - 이명박 정부당시 한전 손실보전과 같은 정부지원 불가능
- 한전의 독점 공기업지위를 유지하는 이상 재정당국과 정치권의 기회주의로 인해 요금정상화는 구조적으로 불가능
  - 이스라엘은 독점전력사업자(IEC)의 적자(160억달러)로 인해 2018년부터 경쟁체제 도입 추진
  - 이집트는 에너지공기업들의 적자문제(220억달러)로 인해 2013년 IMF에 구제금융 신청
- 자연된 요금정상화는 막대한 금융비용과 함께 결국 수년 후 모두 소비자들의 부담으로 전가

4

## 2) 해외의 RE100요구와 국내기업 수출포기

- 글로벌기업들의 재생에너지 100% 이행요구에 국내 기업들의 수출계약 포기사례 속출
- RE100 이행을 위해 직접PPA가 필요하지만, 한전의 부당한 송전료, 보완공급비, 기본요금 요구에 직접PPA는 지지부진
- 발전-송배전-판매 수직독점 사업자의 송배전 접근 제약을 통한 직접PPA 진입방해는 불공정 경쟁행위이자, RE100에 치명적 제약
- 현 추세대로라면 국내 주요기업들의 재생에너지에 우호적인 미국으로의 공장이전 불가피

5

## 3)태양광증가와 전력계통 관리한계

- 전국쟁점: 태양광 증가로 경직성 대형원전들(APR1400)의 출력감발 및 태양광 출력차단 빈도 증가추세
  - 연휴 및 주말 낮은 순수요 시간대 대형원전 불시정지로 인한 전력망 불안정에 대한 대비책(N-1)
- 지역쟁점: 영호남 태양광 증가와 수도권 높은 전력밀도로 인해 송전 한계 도달, 호남태양광 출력차단 및 한빛원전 출력감발
- 계통여건 및 송배전비용과 무관한 전국 단일요금체계에서 RE100에 필요한 재생에너지 확대, 수도권 송전 모두 지속하기 어려운 한계 도달

6

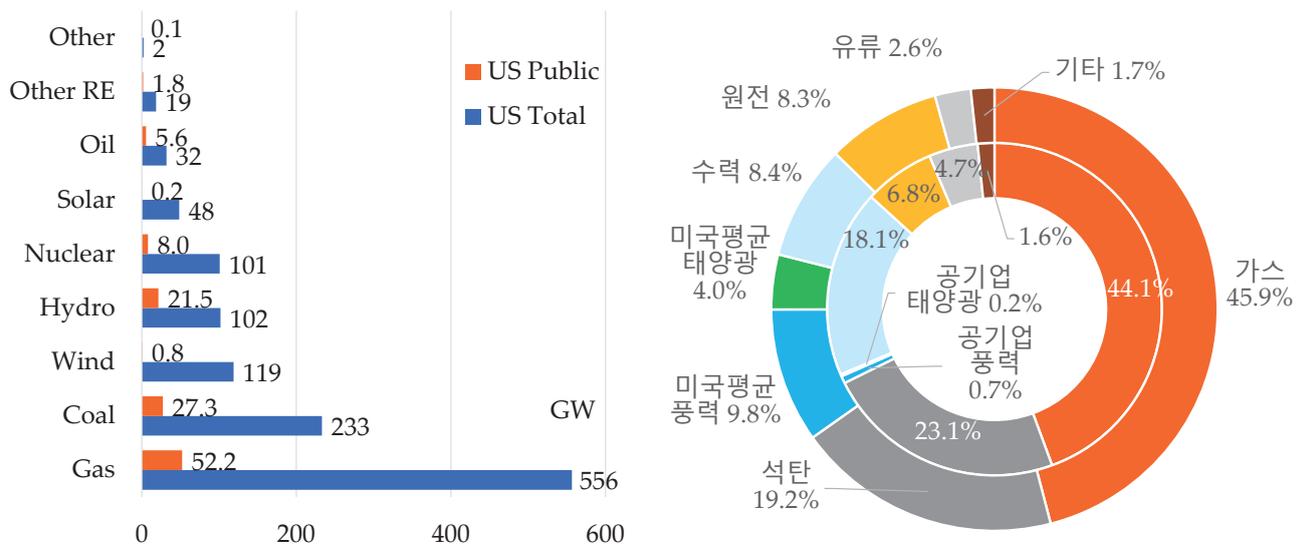
## 국내의 낙후한 전력시장구조와 폐해

- 국내 발송배전판매 수직독점구조는 50년전 모델로 원전, 석탄에 유리할 수 밖에 없는 구조임(Averch-Johnson Effect, 1961)
- 국내 도매전력시장은 요금억제를 위해 한전이 자회사 원전과 석탄에 정산단가 조정계수를 적용해 '초과이익'을 회수하고,
  - 반대급부로 한전은 송전망을 통해 발전자회사들에게 차별적 지원(송전요금면제, 우선 송전접속)을 하며 공생하는 구조
- 수직독점구조를 통한 불공정경쟁 행위로 인해 에너지원 다원화, 재생에너지 포함 신규진입을 막게 됨
  - 국내기업들의 RE100이행을 위해 필요한 직접PPA의 송배전 접속에 대해 과도한 송전료, 보완공급비, 기본요금 등을 요구

7

## 독점공기업의 유인구조와 에너지전환의 모순관계

미국의 발전원별 전력설비용량 비교 (미국 전체 대비 공기업) 2020실적

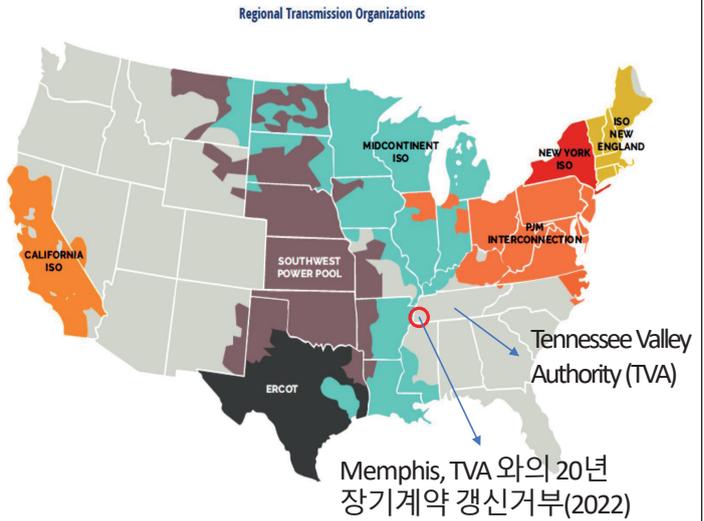
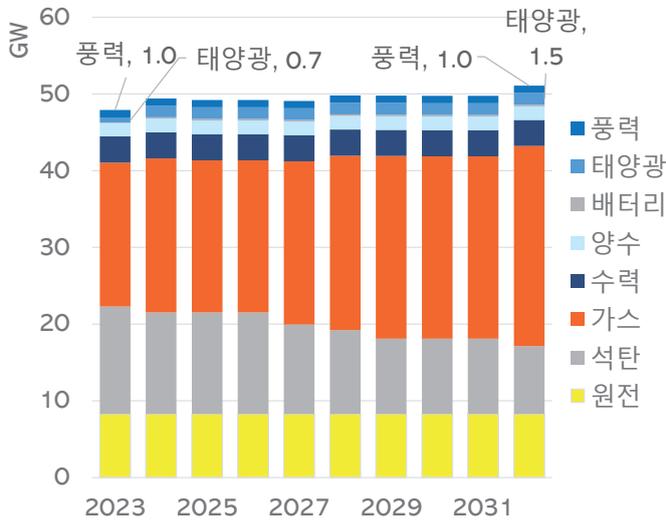


Source: American Public Power Association(2022)

8

# 수직통합형 공기업, TVA의 에너지믹스

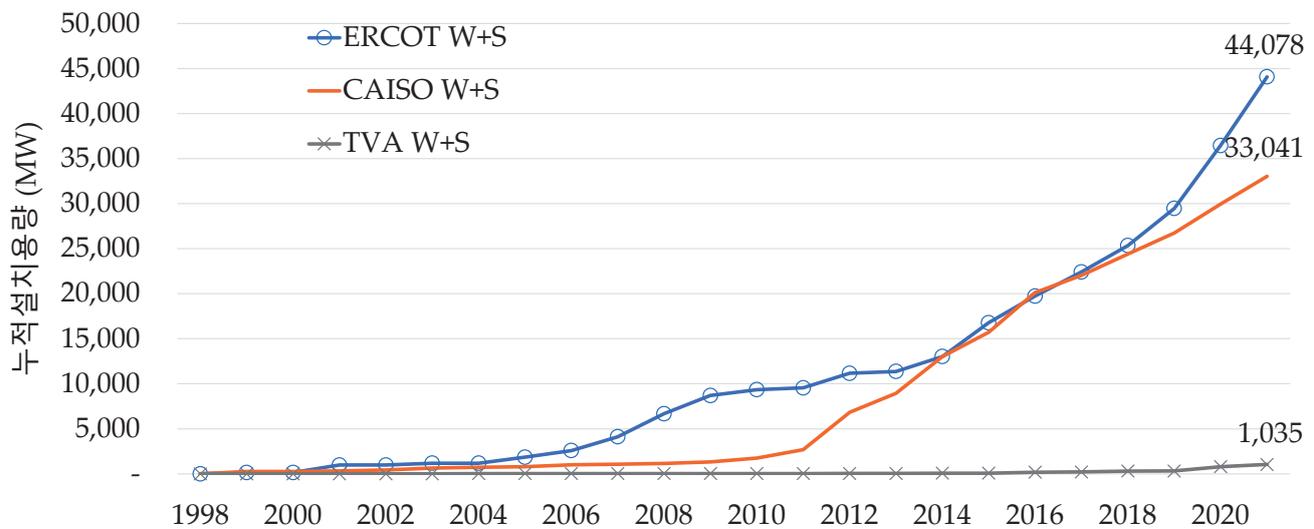
TVA 최대 소비자인 멤피스시(MLGW), 탄소중립정책·요금 문제로 TVA이탈계획



Source: North American Electricity Reliability Corporation, Long Term Reliability Assessment 2022

9

# 텍사스, 캘리포니아, TVA의 풍력 및 태양광 설치실적 (1998-2021)



참고: Lawrence Berkley National Laboratory, Land-Based Wind Market Report 2022, Utility-Scale Solar 2022

10

## 세계 전력시장제도의 주요 변화

### □Averch-Johnson 효과 대두(1962)

- 독점공기업 요금규제는 자본집약적 설비투자편향 유인, 특정기술투자로 왜곡
- 이후 통신, 항공, 전력산업 등 네트워크 산업 경쟁도입의 이론적 토대

### □미국 오일쇼크 직후 전력산업규제정책법(PURPA, 1978) 제정

- 산업용 열병합발전 및 재생에너지의 공정한 전력망 접속 보장

### □Energy Policy Act(1992): IPP등 신규진입 전기사업자의 망접근성 보장

### □FERC Order 888/889(1996): 기존 발송전 수직통합 사업자의 송전망분리

### □EU, Electricity Directive 96/92/EC(1997): 경쟁전력시장 도입

- 프랑스도 전력·가스 망분리, 독점 전력·가스 소매시장 경쟁체제 도입(2007)

### □전쟁으로 영국에서 고정형 요금제가 사라지고, 변동형으로 전환

- 옥토퍼스: 가정용 DR, 태양광-히트펌프-배터리 패키지 사업(2023)

11

## 수직독점구조는 한국, 멕시코에만 존재

OECD회원국 중 마지막 독점전력시장 유지 4개국의 현황

	이스라엘	프랑스	멕시코	한국
송전망분리	2026년까지 송배전부문 (IEC) 분리계획(2018)	RTE 분리(2001)	CFE 독점	한전 독점
발전경쟁	민간 39%	원전 가동중단과 EDF부채 문제로 잠정중단	민간 62%	민간 29%
판매경쟁	2026년까지 경쟁도입 계획	도소매경쟁(2007)	CFE 독점	한전 독점

12

## 2. 우크라이나 전쟁 전후 해외 전력정책 및 시장의 변화

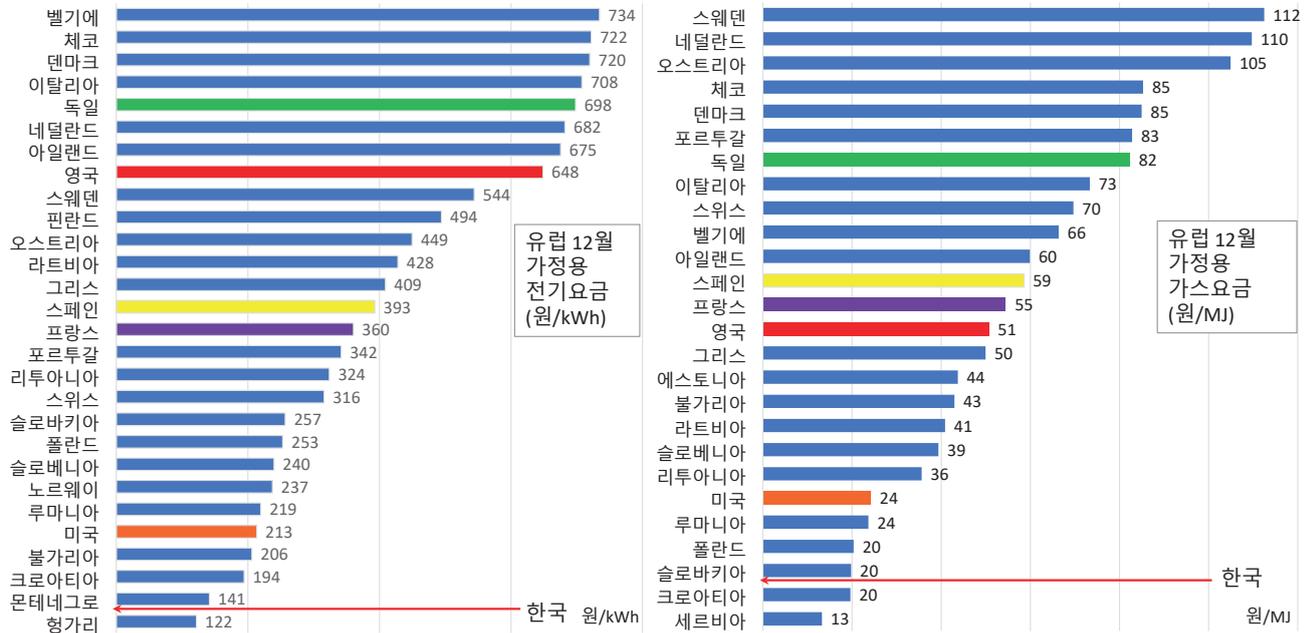
13

## 전기·가스원가 폭등에 대한 유럽의 대처

- 독일, 영국 등 유럽국가들은 전기, 가스요금 폭등에 대해 요금할인이 아닌 정부재정을 통한 에너지 재난지원금 지급
  - 영국, 독일은 연말, 연초 600~700원/kWh 수준의 전기요금 전망되며, 각각 약 120조원 안팎 규모 (970억~990억유로)의 재난지원금으로 전기 및 가스요금 인상으로 인한 국민부담 완화
- 반면 과거 국제 고유가 당시 이집트는 공기업을 통한 전기, 가스, 석유 할인 남발로 IMF에 구제금융신청(2013)
  - 에너지공기업 적자가 정부재정의 22%인 210억불(현재가치 35조원) 도달
  - 에너지공기업 적자를 감당하지 못해 IMF구제금융 신청(세계은행 금융지원)
  - 베네수엘라도 국영 석유회사(PDVSA)를 통한 석유할인 남발로 국가부도

14

## 전쟁이후 미국·유럽의 가정용 전기·가스 요금(2022.12.)



참고: Energie-Control Austria, Hungarian Energy Regulatory Authority(MEKH) & VaasaETT, Household Energy Price Index for Europe Dec. 2022, 미국에너지정보청(USEIA)

15

## 영국의 전기·가스 요금인상과 재정정책

영국 규제기관의 주택용 전기·가스 요금상한(price cap)조정 결과(2022년10월)

	상한조정결과	전반기대비 인상률	국내요금	한·영비교
전기요금	820원/kWh	86%	121원/kWh	6.8배
가스요금	65원/MJ	114%	19.7원/MJ	3.3배

자료: 영국 전기·가스시장 규제청(OFGEM), Default tariff cap level: 1 October 2022 to 31 December 2022

영국 정부의 에너지재난 지원 정책

	2022.10-'23.3월	2023.4-'24.3월	비고
September Energy Package	68조5천억원	42조5천억원	2022, 2023년 에너지재난지원금, GDP 대비 평균 2.1%
-가정용 (Energy Price Guarantee)	39조3천억원	42조5천억원	
-중소상공인(Energy Bill Relief Scheme)	29조1천억원	미정	

자료: 영국 예산준칙 관리청(OBR), Economic and fiscal outlook (November 2022)

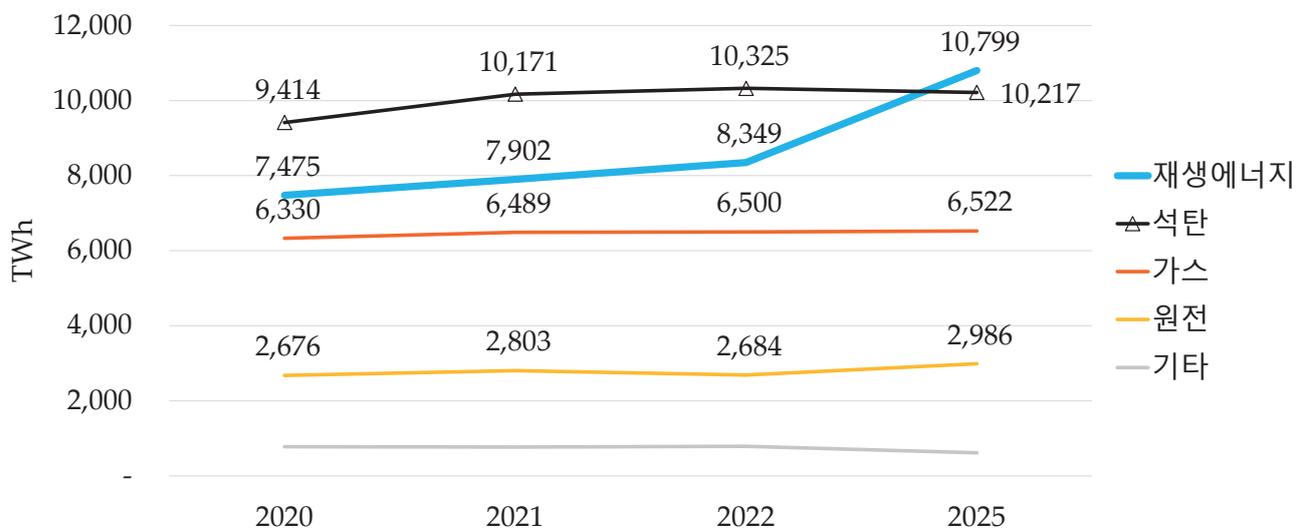
16

## 재생에너지 급성장에 따른 계통유연성 강화방안 대두

- 세계적으로 재생에너지 급증에 따라 경직성 전원인 원전문제 부각, 별도의 유연성 강화방안 필요성 대두
- 공급측에서는 장주기 에너지저장장치 (양수발전, 신기술배터리 등) 및 유연성 발전기(가스/수소터빈) 확대추세
  - 미국 Form Energy, 조지아주, 버지니아주 등에서 유틸리티급 산화철배터리(100시간 지속) 생산공장 및 저장시설 착공
- 수요측에서는 변동형 요금제, 네거티브가격의 소매전력시장(가정용)까지 확대 사례 등장

17

## 에너지전환의 추세는 모든 대륙에서 진행중 - 지난해 세계발전량중 재생에너지 29%, 2025년 35% 전망



출처: 국제에너지기구(IEA), Electricity Market Report 2023

18

## 재생에너지증가로 대륙도 원전문제 직면

□미국은 재생에너지가 급증하기 시작한 지난 2015년 이후 잔여 설계수명이 10년 이상 남은 원전 7기 조기폐쇄

- 포트칼훈(2016), 오이스터크릭(2018) 드리마일-1(2019), 필그림-1(2019) 등
- 재생에너지 증가로 도매전기요금 하락, 이른바 네거티브 가격이 늘어나며 원전 운영손실 증가에 따른 자발적 조치

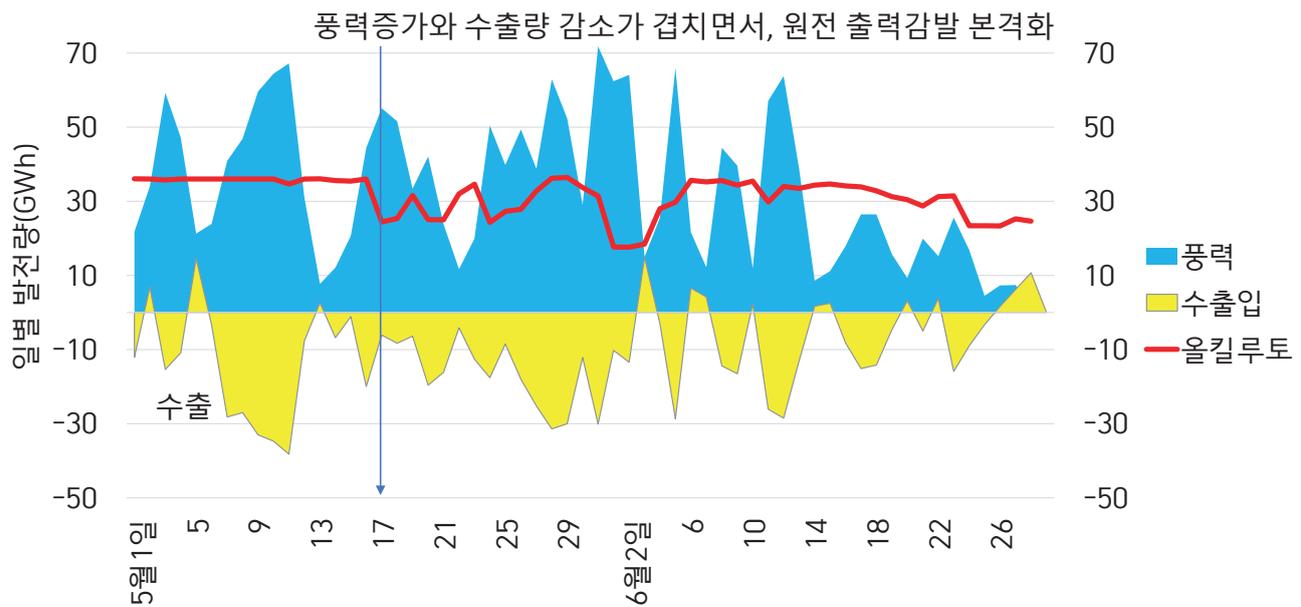
□핀란드도 풍력발전 증가로 계통안정규제, 도매전기요금 하락의 요인으로 최신 원전(올킬루토-3) 2개월간 39일 출력감발

- 현재 핀란드의 풍력발전용량은 약 5.5GW이나, 2025년까지 10GW로 증가할 예정이라 원전 출력감발 빈도와 감발량 대폭 증가전망

19

## 핀란드의 풍력증가와 올킬루토원전 출력감발

-인접국과 계통연계에도, 풍력증가로 최신원전 2개월간 39일 출력감발

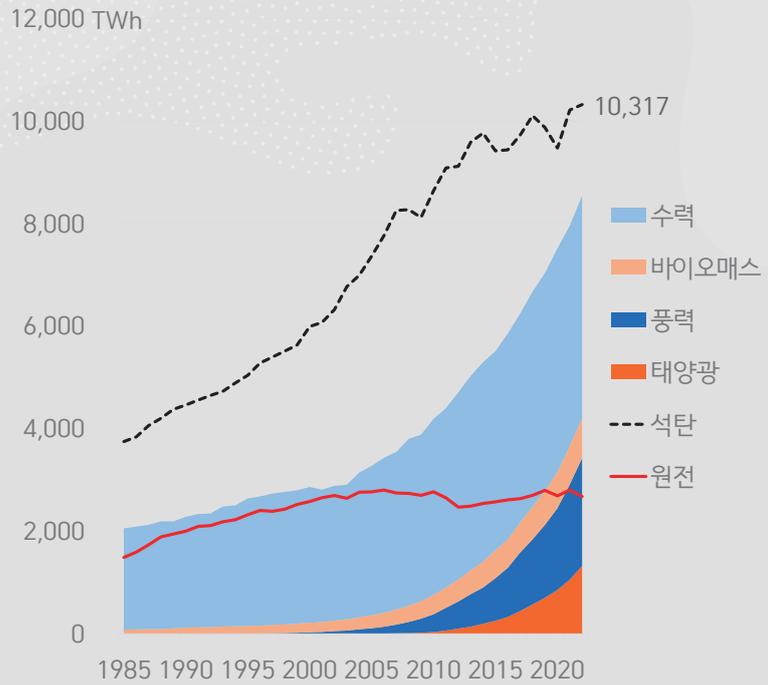


참고: 독일 프라운호퍼 연구소(Energy-charts.info)

20

□ 풍력·태양광이 세계 재생에너지(RE) 증가세 주도

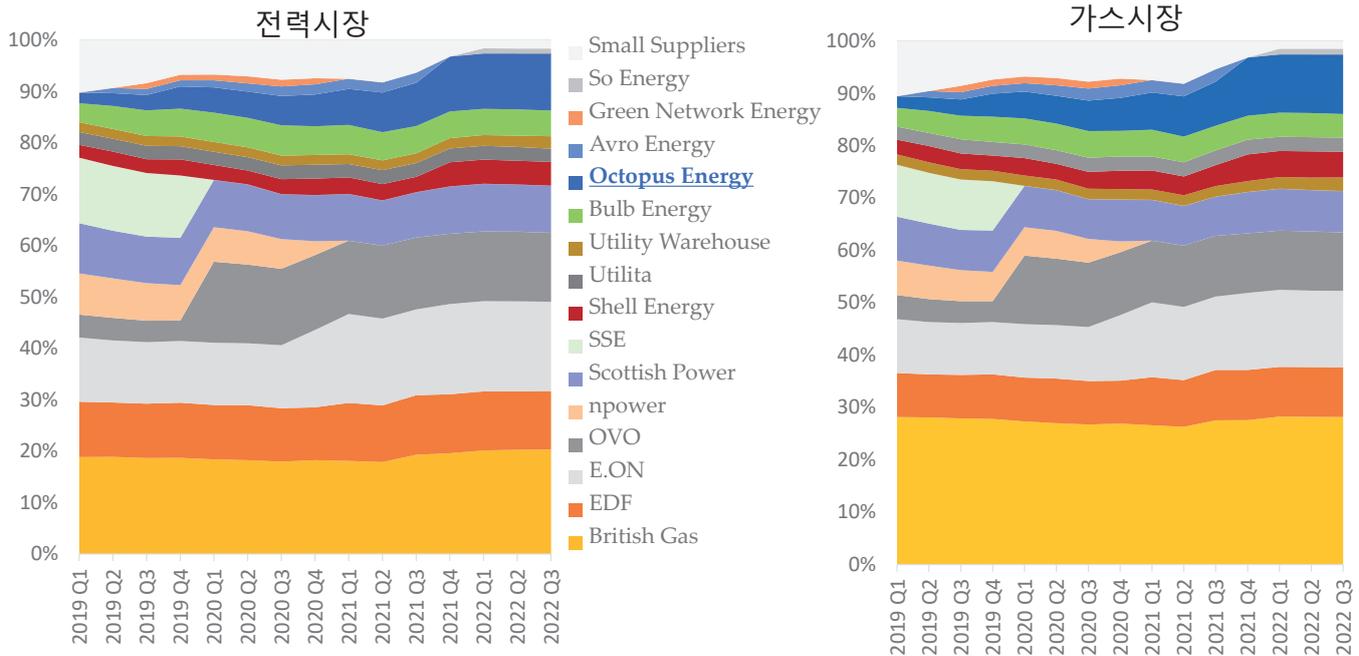
□ 변동성 RE의 효율적 사용을 위해 전력시장과 계통유연성 강화필요



참고: Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023

## 영국 전력·가스 소매시장과 옥토퍼스의 등장

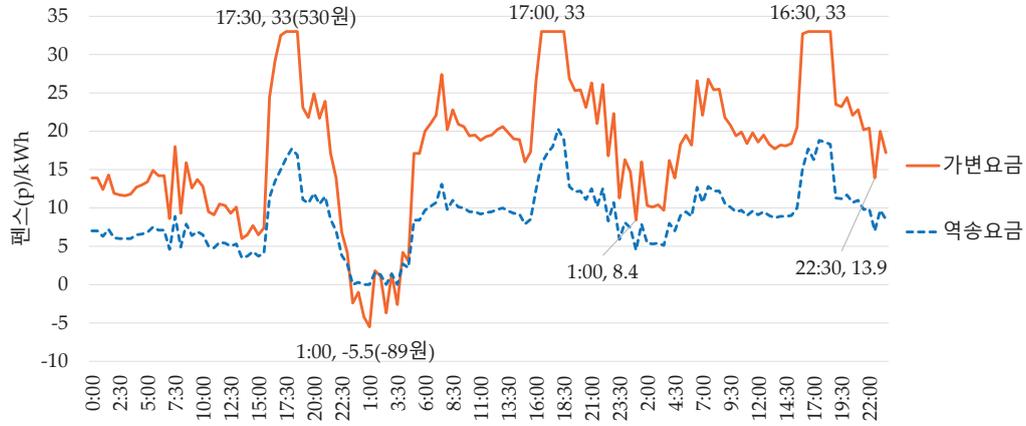
-재생에너지 100% 전력조달, 가정용 수요반응을 기치로 급성장



출처: UK Ofgem, Retail Market Indicators

## 옥토퍼스의 변동형 소매요금(+역송 요금)

-4월 10-12일(월,화,수) 30분단위 가정용 소비단가, 가전기기 제어 자동화  
 (+역송요금: 자가용 태양광·풍력·배터리에서 배전망으로 판매할 경우 요금)



출처: <https://dashboards.energy-stats.uk/> ※세부요금명칭은 "Agile Import", "Agile Outgoing"

# 전력산업 메카니즘 변화와 기후위기 시장 선도 전략

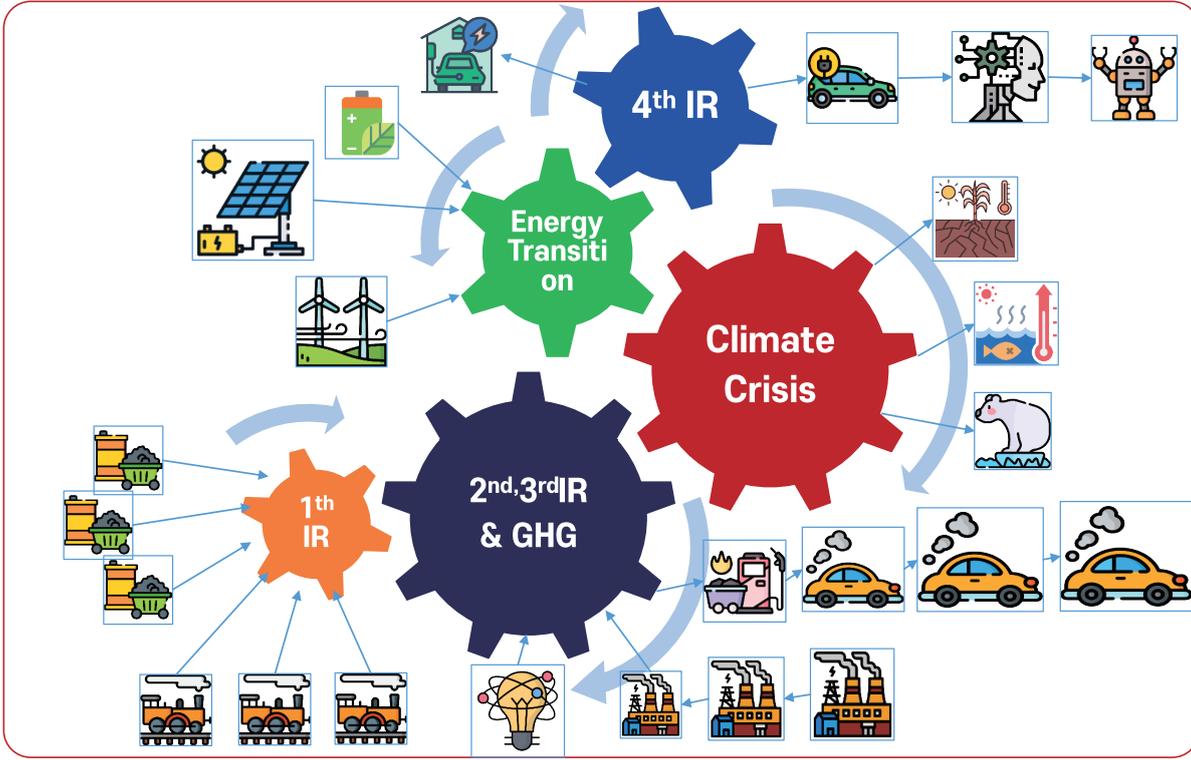
주제발표

**황우현**

서울과학기술대학교 교수

# 1

## 4차 산업혁명 방향과 Electrification



# 2

## 100년 간 전력산업 모델의 붕괴 전망



### < 토머스 프리드만 NYT 컬럼리스트 2008년 >

- 에너지모노폴리 게임 - “독점권을 받은 유틸리티 회사들은 합리적 가격 (Reasonable Price), 안정적 공급(Reliable- 원하는 고객 누구에게나), 보편적인 서비스(Ubiquitous -연중무휴공급)을 해야 한다.
- 전력시스템은 에디슨 후배 새뮤얼 인설이 정부기관에 100년 전 판매.
- 전력시스템 이득
- ✓ 전력회사: 고객 수요보장으로 발전소, 송전시설 투자자금 저렴하게 조달
- ✓ 고객: 수십 년간 값싸고 안정적으로 전기 사용” (p316)
- > 현재 전력망은 거대하고 가장 멍청하여 스마트그리드 도입 주장함

### < 토니 세바 RethinkX 컨설팅 회사 대표 2014년 >

- 붕괴를 초래하는 다음 파도들 - “ 재래식 전력회사들의 붕괴를 초래하는 파도는 100년 이상된 BM에 거대한 구멍을 남길 것이다.
- 센서, AI, 인터넷에 연결된 분산형 발전과 에너지관리에 의해
- ✓ 전력 도매시장에서의 낙찰가 하락
- ✓ 전력 소매시장에서의 피크요금 감소
- ✓ 소비자의 자가발전 증가로 전력수요 감소
- ✓ 임계량에 이르는 고객들이 에너지소비 제로에 도달”
- > 미국 에디슨협회의 붕괴대응 요금인상 요구는 분산전원 확대 가속화(p158)

### < 클라우드 슈밥, 다보스포럼 회장 2016 >

- 4차 산업혁명 -” AI, Robot, lot, AD, 3D PRT, 생명공학, ESS 등 전개 전망 ”



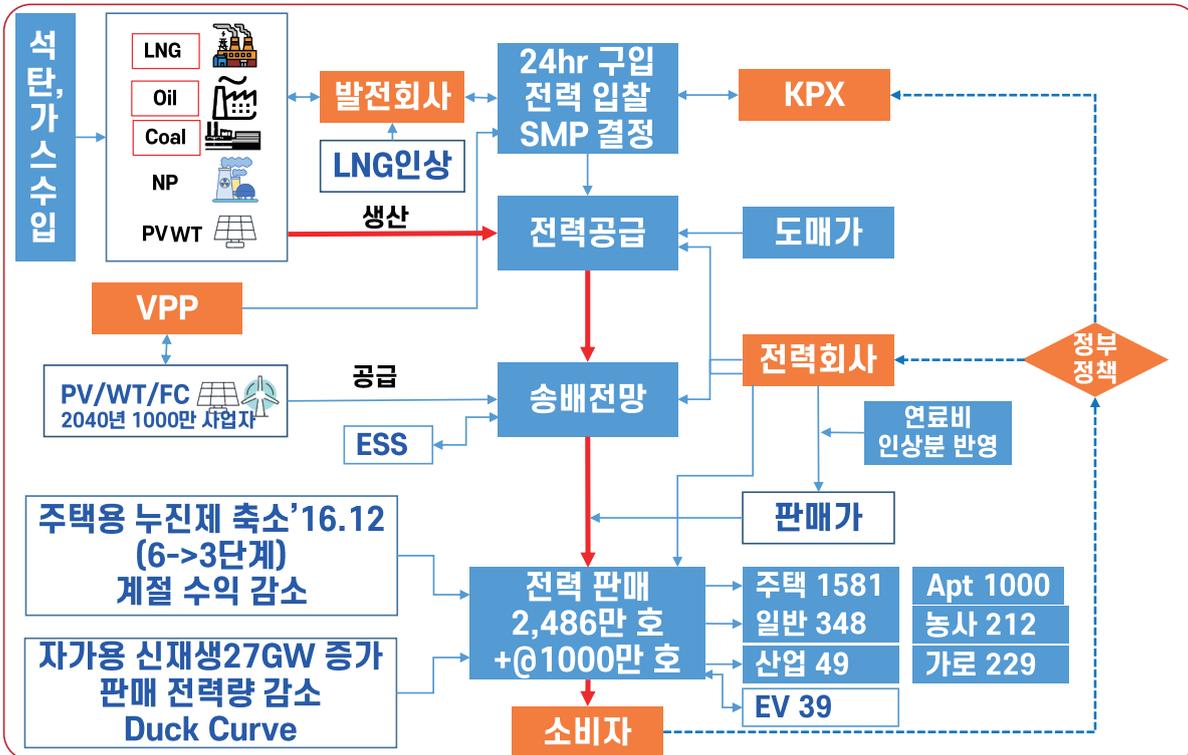
토머스 프리드만  
CODE GREEN  
뜨겁고 평평하고  
붐비는 세계



클라우드 슈밥의  
제4차 산업혁명

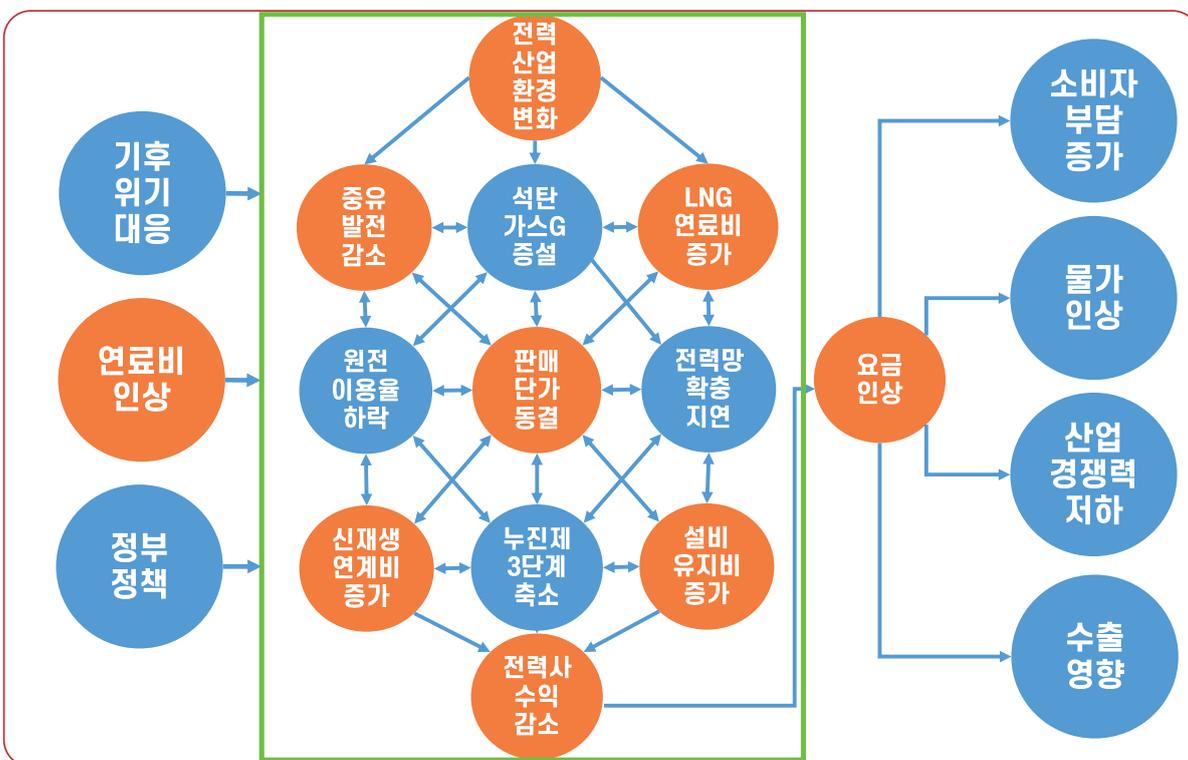


### 3 | 전력 생산 및 판매 Mechanism 다양화



4/14

### 4 | 전력산업 수익성 감소 주요 원인과 영향



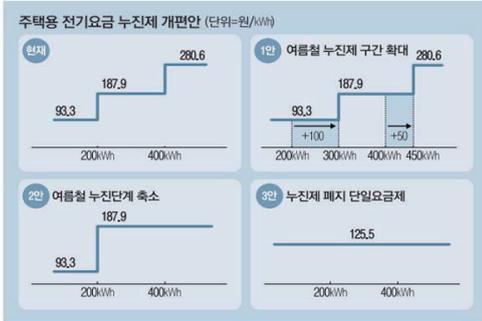
5/14

# 5

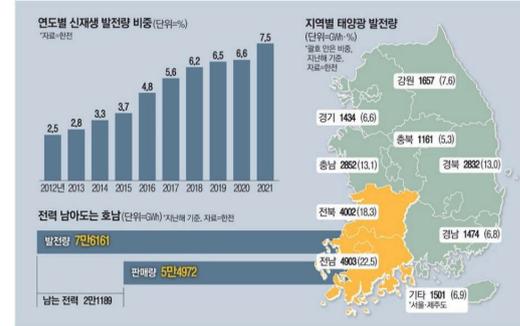
## 제도 변화와 발전 연료별 단가



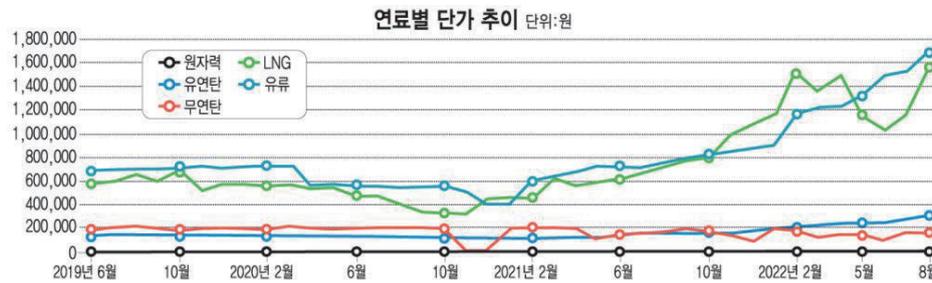
### ◆ 주택용 누진단계(6->3) 축소



### ◆ 신재생발전 증가 계통수용성 제약



### ◆ 발전원별 연료비 인상 추세

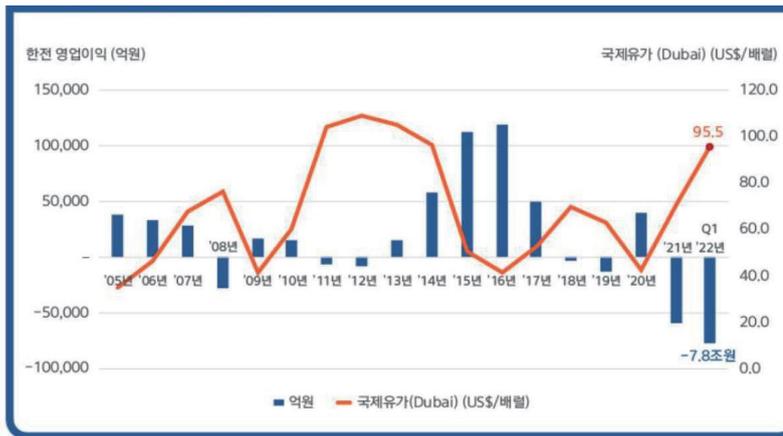


# 6

## 국제유가 변동과 전력회사 적자(7회) 발생 시기



### ◆ 국제 유가와 전력회사 영업이익 변동 추세



◆ 우크라이나-러시아 전쟁발발('22.2.24) 과 발전용 연료비용 증가시기 재고 ->적자는 2018년~

◆ 중유 발전 감축, 석탄, LNG 증설

◆ 원전 이용을 감소 등 다양한 분석으로 원인 규명 필요

➢ 원전 이용률(%) 변동 추이



## 7 | 20년간 1인당 전기사용량과 Peak Load 정체



### ◆ 1인당 전기사용량 (단위; kWh) -> 에너지절약 강화



### OECD 주요국 가정용 전기요금

2020년 관련 수치 공개 34개국 기준  
단위: 달러(MWh당)



이탈리아 2019년, 멕시코 2018년 기준

자료: 한국전력

연립뉴스

### ◆ 고객호수 증가와 최대 수요 변동(자료=한국전력)

연도	2000	2017	2018	2019	2020	2021	2022
고객호수(만호)	1,841('08)	2,307	2,350	2,386	2,419	2,452	2,486
판매전력(TWh)	385	507	526	520	509	533	547
최대수요(만kW)	6,697('08)	8,513	9,247	9,031	8,909	9,114	9,450
1인당(kWh)	5,067	9,869	10,195	10,039	9,826	10,330	10,652



8/14

## 8 | 30년 간 주요국 전기사용량 추세



### 주요국 1인당 전력사용량 [kWh/년]

\* <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-electricity-consumption>

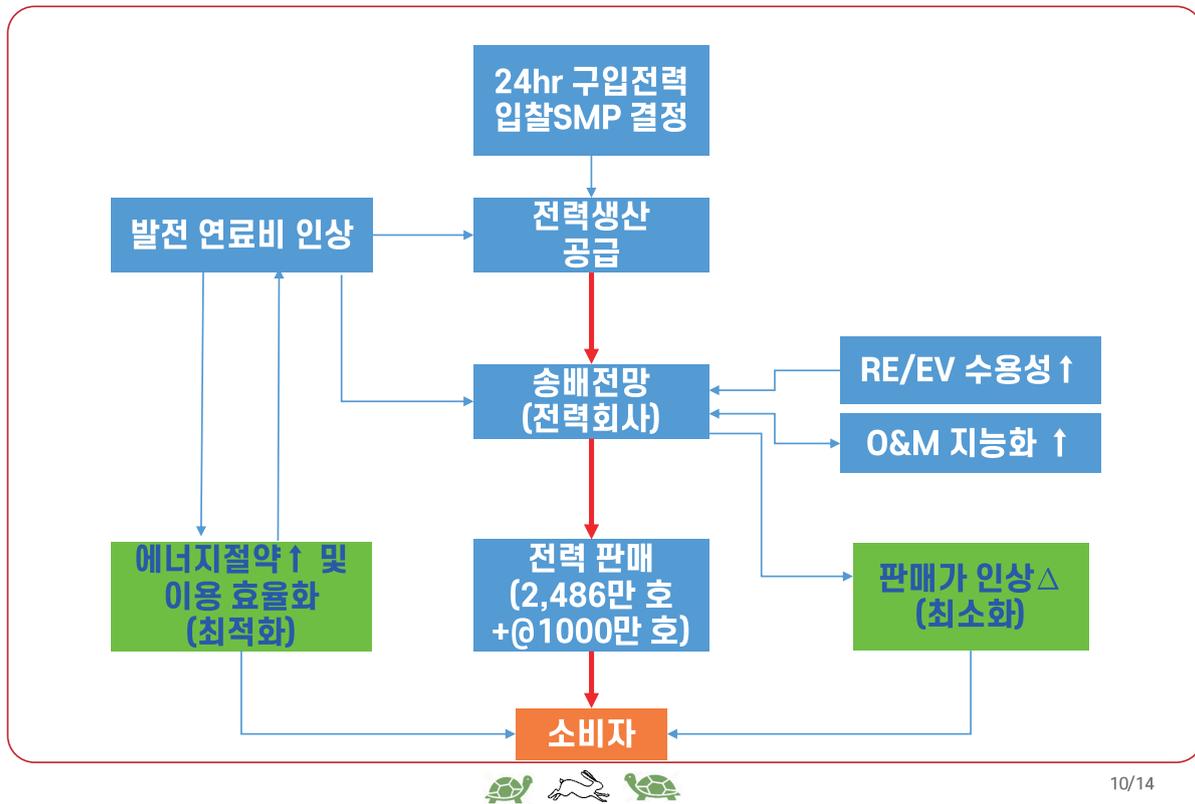


두가지 고려사항  
① 선진국은 왜 사용량이 감소하는가?  
② 한국은 왜 사용량이 줄지 않는가

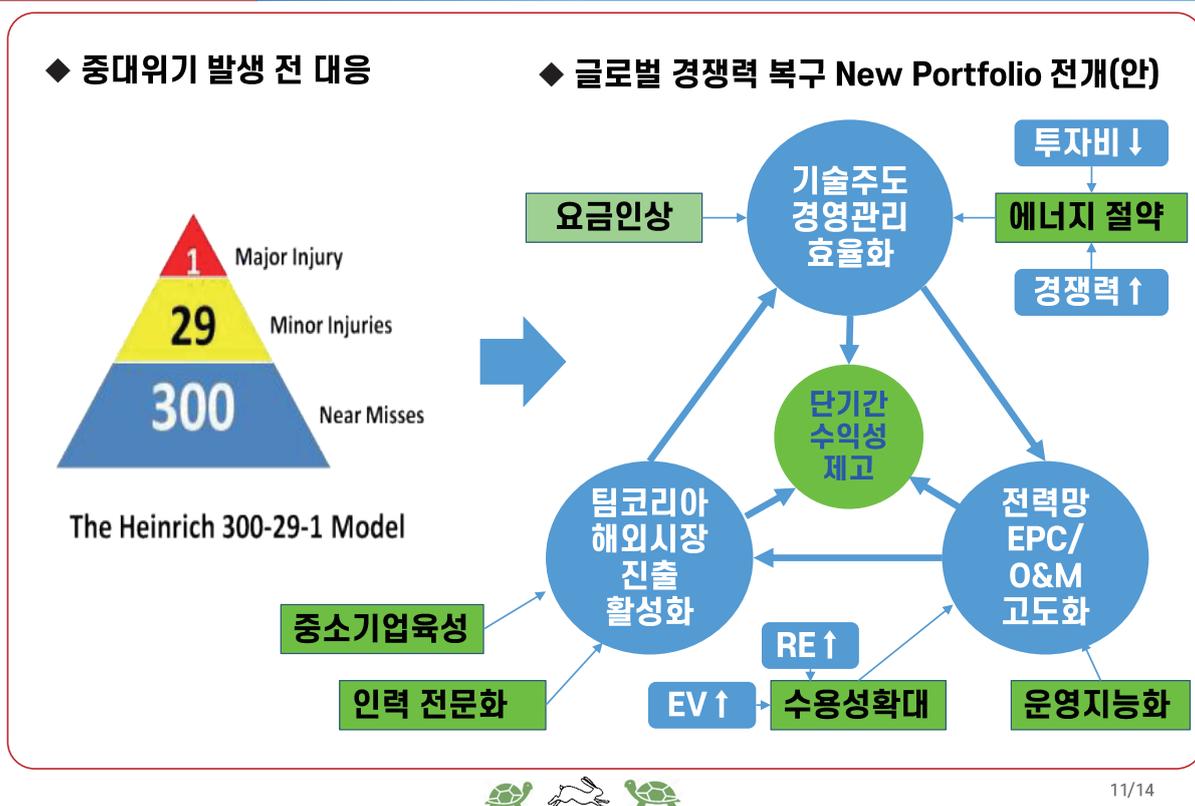


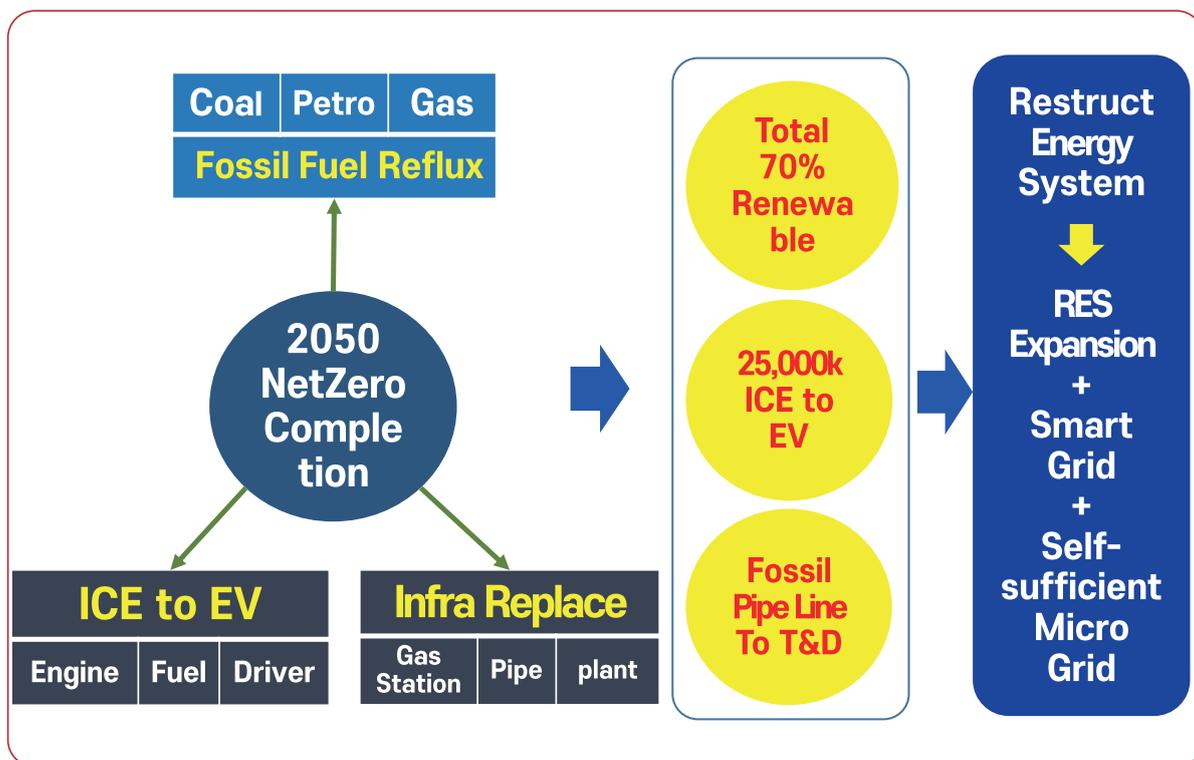
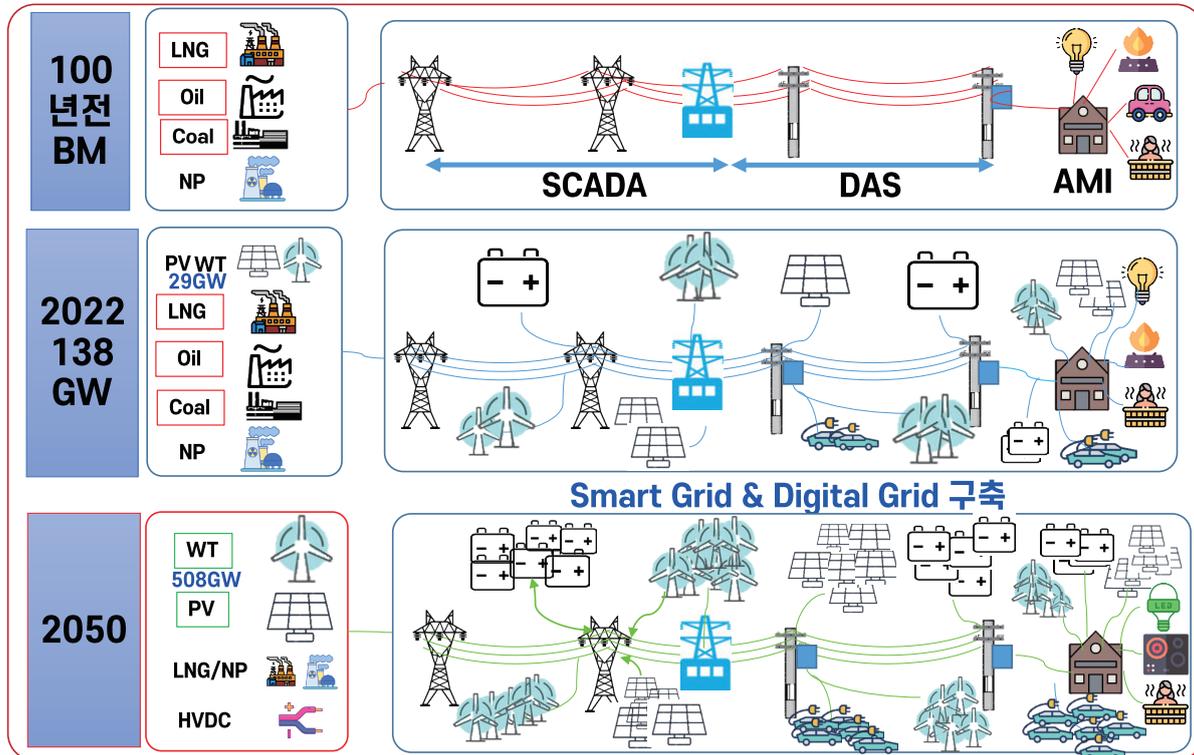
9/14

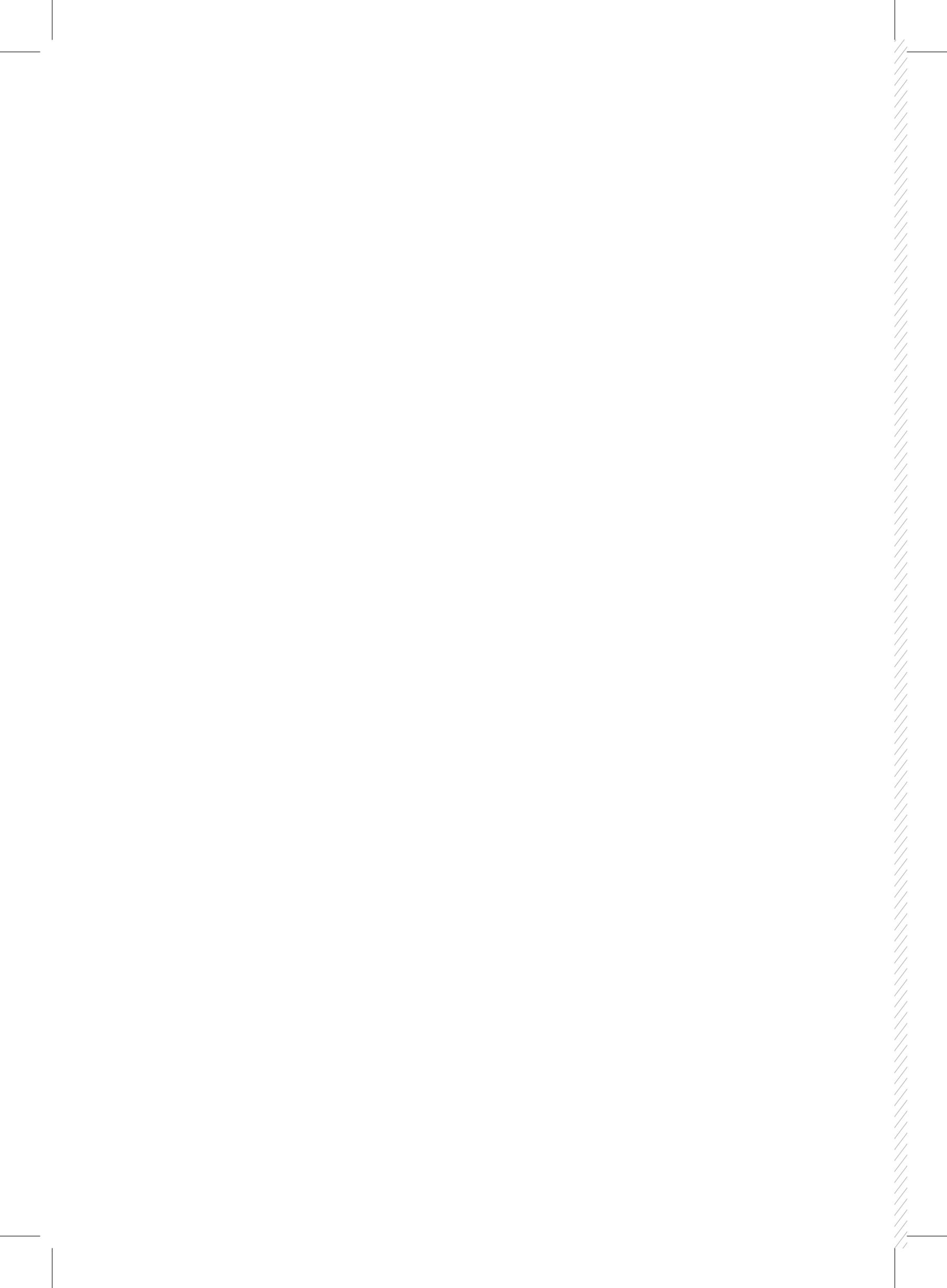
## 9 | 연료비 인상 대응 이해관계자 역할 분담



## 10 | 전력산업 수익성 제고 New Portfolio 방향(안)







# 원자력산업의 미래



패널토론

**이정운**

산업통상자원부 전 에너지위원



## 원자력산업의 미래

이정운(산업통상자원부 전 에너지위원)

에너지산업이 격동의 시기에 처해 있다. 특히 지난 정부에서 탈원전 에너지전환 정책이 윤석열 정부 들어서 원전중심의 에너지 정책으로 급변하고 있다. 에너지 정책이 해법을 모색하고 장기적인 정책으로 추진되어야 하는데 정권에 따라 너무 정치적으로 좌우된다는 목소리가 나온다. 너무 정치화되었다는 소리는 사실 당연한 이야기인지도 모른다. 정치화는 정책이 국민적 의견이 적절하게 반영되어 다듬어지는 과정이다. 다만 여기서 너무 특정 이해집단에 의해 좌우되면 특정 이해집단에 초점을 맞춘 쏠린 정책이 될 수 있다는 점을 유의해야 한다.

지금까지 에너지 정책 중 원자력 정책은 원자력 이해관계자에 의해 좌우된 측면이 강하다. 원자력산업은 지금까지 정부정책으로 추진되어 왔다. 군부독재 시절에 추진된 점 때문인지 국가 정책으로 소수의 희생을 마다 않고 강하게 추진된 측면이 있다. 철권통치 시절에는 이 점이 자연스러울 수가 있지만 인권이 존중되는 자유민주시대에서는 국민의 다양한 목소리가 수용될 수 있어야 정책이 성공할 수가 있다. 이런 측면에서 에너지 정책의 여론 수렴을 위한 정치화는 오히려 자연스러운 측면이 있다.

원자력산업의 특징은 국가주도 정책으로 원자력산업이 대부분 핵심분야가 국유화된 조직에 의해 추진되며 최종 정책결정권자도 정부가 지배한다. 하지만 정부는 관료화되어 정책을 수립하는 과정에서 현장 실무자의 의견이 필수적이다. 이 과정에서 엘리트주의에 따라 교수들의 입김이 자연스럽게 나오게 되는 과정에서 군부독재 시절에 친숙한 진흥주의에 빠진 소수 핵심 교수들에 의해 정책이 좌우되고 있는 모습이다.

원자력연구원 본관 앞에는 지금도 “원자력은 국력”이라는 전두환 대통령의 친필을 비석에 새긴 기념탑을 세워두고 있다. 원자력 산업계는 무조건 국가이익을 위해 원자력은 진흥되어야 하는 것이다.

원자력 발전은 핵의 평화적 이용을 위해 탄생하였다. 초기 미국의 도움으로 추진된 우리나라 원자력산업은 아이러니하게도 진흥의 걸림돌이 미국이 되고 있다. 성장기를 거쳐 이젠 완숙기에 접어든 한국의 원자력산업의 해외 독자 수출을 막고, 사용후핵연료 재활용을 위한 재처리

를 못하게 하고 핵연료 제조도 못하게 막고 있다. 재처리 등의 민감기술 확보는 원자력 진흥 정책의 최우선 과제가 되고 있다. 국내 원전 건설시장이 포화한 우리나라는 수출에 적극적이지만 지적재산권을 들어 미국이 한국의 독자수출을 제지하고 나섰다. 미국에 경쟁하는 것을 보지 못하겠다는 것이다. 사용후핵연료가 저장에 포화하면서 재처리기술 확보에 안간힘을 쏟고 있지만 재처리기술 확보 자체 즉, 설비 자체를 건설하지 못하게 막고 있다.

핵비확산협정에 따른 조치다. 이를 해결하기 위해 우리가 미국에 모든 것을 양보해야 하는 것은 앞뒤가 맞지 않으며 안보동맹을 통해 해결하려고 하지만 요구는 많은데 주는 것은 없는 형국이라 비난을 자초하는 형국이 되고 있다. 원자력산업은 이대로 주저 앉아야만 하는 것이냐는 것이다.

원자력 산업계는 SMR을 들어 전폭적으로 지원하고 있지만 경제성·안전성에서 기존 상업용 원전과 경쟁이 될 수가 없다. 새로운 개발을 통해 안전성을 획기적으로 개선한다지만 입증된 것은 하나도 없다. 그 대표적인 SMR이 미국 뉴스케일 원자로이다. 55MW형으로 설계인증 받는데 성공했지만 경제성 부족으로 다시 77MW로 격상 설계 중이지만 또한 까다로운 심사를 통과할지도 미지수다.

NRC가 아무리 협조한다고 해도 한계가 있다. SMR을 차기 전망이 좋은 산업으로 적극 추진 중인 한국 원자력계는 뉴스케일사에 두산에너지빌리티(전 두산중공업)가 3000억 원을 빌 게이츠가 추진하는 테라파워에 3200억 원을 투자한 바 있다. 가장 앞서간 뉴스케일사는 투자받아 나스닥에 상장하였지만 1년 이내 재무회계 담당자가 자신의 주식지분을 전부 팔아치웠다. 물론 한국에서 윤 대통령이 방미 후 이 원자로를 한국에 설치한다는 뉴스도 나왔지만 미국 유타주 소도시로 구성된 투자자인 UAMPS(Utah Associated Municipal Power Systems)와 계약된 전력 공급계약 조건을 맞추지 못하면 투자금을 되돌려 주어야 하는 문제로 조만간 회사 존립 자체도 그리고 한국의 투자금도 모두 허공에 날릴 판이다. 문제는 경제성과 안전성에 있다.

수출 난관에 봉착한 한국 원자력 산업계가 새로운 돌파구로 SMR에 집중해서 정부지원금을 얻는 데는 성공했지만, 이 돈 또한 헛투자가 될 가능성이 높다. 정부는 국내 원자력계에 연구비를 투자했지만 핵심 설계개발 역무에 전문 설계사는 뒷전이고 교수들과 학생들이 그리고 연구소 연구원들이 주로 참여한다. 실제적인 연구결과를 얻는 것보다 인력양성에 중점을 두는 모습인데 실패에 따른 아무런 부담도 없게 되어 있다. 정부지원금으로 개발된 SMART는 창고로 들어가 있는 지 오래다. 또 다른 iSMR을 개발한다지만 경제성 평가결과는 특정대학 핵공학과 선후배로 구성된 팀에서 평가하였고 프로젝트 결과는 설계인증이므로 나중에 건설할 이유가 없다.

그러므로 설계개발한다고 수천억 원을 쓰고 현실성이 없는 설계결과물에도 성공으로 끝날 가능성이 높다. 이에 대한 누군가가 책임질 일도 없으니 돈 쓰기 아주 편한 일이다. 안전을 위해 제작 에러를 최소화하기 위해서는 설계결과물을 기술적으로 잘 평가해야 하지만 알아서 평가할 것이다. 설계결과는 검증되지 않으므로 오히려 건설하면 안 되는 연구를 하는 것이라고 보아도 무방하다.

이처럼 원자력의 미래는 암울하다. 그렇다면 어떤 미래를 가야 하는가이다. 원전은 2080년 이후까지도 계속 가동할 수가 있으므로 정비, 안전을 위한 연구와 기술개발은 인력확보를 위해서도 꾸준히 해야 한다.

또 한 가지는 사용후핵연료와 폐기물 그리고 해체이다. 이를 잘 대비하기 위한 준비를 잘해야 할 것이다. 그렇다면 원자력의 진흥정책은 새로운 건설보다는 안전과 폐기물 쪽에 집중해야 할 것이다. 추가로 후속적인 다양한 방사선 융복합 연구가 있다. 이 분야는 우리나라가 뒤떨어진 분야이므로 진흥 정신을 방사선 융복합에 집중할 필요가 있다. 오히려 산업의 고용시장은 원자력의 수배에 이른다. 우리나라에서는 불모지대에 가깝다는 의미가 된다.

원자력 정책은 시대의 흐름을 잘 따라야 한다. 후쿠시마 원전에서 오염수 배출에 적극적인 일본을 보면 한국 원전의 오염수 배출에 신경이 쓰인다. 일본에서 배출하는 오염수가 한국 원전보다 작게 배출하므로 문제가 없다는 것은 국내 원전을 의식한 것으로 보인다. 즉, 방어논리가 필요한 것인데, 가동원전의 배출수는 전기를 생산하기 위해 그동안 어쩔 수 없이 받아들인 측면이 강하다.

즉, 정당성이 있었지만, 지금은 재생에너지의 경쟁력이 매우 강해져서 그나마도 정당성의 존립기반을 잃어버리고 있다. 원자력산업의 미래는 후쿠시마로 돌아갈 것인가? 아니면 탈원전 방사선 융복합 시대로 새롭게 들어갈 것인가? 선택의 갈림길에 있으나 가능하면 빠를수록 좋다고 생각한다. 빠를수록 우리나라 경제구조의 선진화는 조속히 도달하는 데 기여하는 산업이 될 것이기 때문이다.

지속가능성 측면에서 원전 건설은 매출이 들쭉날쭉하여 중소기업들로서는 40년~60년의 가동기간에 특정 사업을 맡아서 하는 경우 지속적인 사업을 운영하기 어렵다. 비파괴시험, 기기 및 구조물의 안전진단, 화재 방호 등 안전성 평가, 안전 해석, 주기적 안전성 평가, 기기 정비, 품질검사 등의 사업은 가동 원전에 해당하여 운전 기간에 꾸준히 사업을 시행할 수 있다.

그러나 가동 원전 수는 줄어들고 있으며 점차 퇴출당하는 추세이므로 원전이 탄소중립 시한인 2050년까지 존속할 가능성이 크다 하더라도 점차 줄어드는 추세인 것을 고려하면, 기업들은

후속 사업을 모색하고, 보다 지속 가능한 분야로 전환하는 것이 중요하다. 이에 미래의 지속 가능한 사업 분야를 검토해 볼 필요가 있다.

일단 국내 원자력산업 현황을 살펴보면 원자력발전 분야와 비(非) 원자력발전 분야로 구분할 수 있는데 다음 표에 잘 나타나 있다.

**[원자력발전 분야]**

- (매출) 약 27.4조원 규모로, 발전(75.6%), 공급산업(20.0%), 연구·공공(4.3%)으로 구성
- (인력) 약 3.7만명 규모로, 발전(32.3%), 공급산업(60.0%), 연구·공공(7.7%)으로 구성

(단위: 억원, 명 / 출처: 2016 원자력산업실태조사)

매출 인력	발전	%	공급산업					연구 및 공공
			실계	건설	제조	무역	서비스	
274,513	207,655	55,034	3,588	18,011	22,803	8.42	10,624	11,824
100%	75.6	20.0						4.3
		100%	6.5	32.7	41.4	0.0	19.3	
인력	12,014	22,355	2,486	2,738	8,057	17	9,057	2,863
100%	32.3	60.0						7.7
		100	11.1	12.2	36.0	0.0	40.5	

**[非 원자력발전 분야]**

- (매출) 약 16.1조원 규모로, 산업(73.3%), 의료(22.4%), 비파괴·기타(4.3%)으로 구성
- (인력) 약 10.8만명 규모로, 의료(75.6%), 비파괴(7.1%), 일반산업(5.0%) 순으로 구성

(단위: 억원, 명 / 출처: 2015 방사선 및 방사성동위원소 이용실태 조사)

	산업	비파괴검사	방사선멸균	의료	농업	합계
매출	118,034	2,120	200	36,024	4,556	160,934
%	73.3	1.3	0.1	22.5	2.8	100

	일반산업	비파괴	판매	의료	연구	교육	공공	동물	합계
인력	5,358	7,645	2,307	81,771	2,137	4,046	1,381	3,447	108,092
%	5.0	7.1	2.1	75.7	2.0	3.7	1.3	3.2	100

원자력산업의 매출 비중은 2016년 기준 원자력발전 분야가 27.4조 원, 비 원자력발전 분야가 16.1조 원으로 원자력발전 분야가 상당히 크다. 원자력발전 분야 전체 매출 27.4조 원에서 발전 부문이 80%인 207,655억 원을 차지하지만 인력구조는 전체 고용인력이 3.7만 명인데 이 중 발전 부문이 12,014명으로 1/3 정도에 그치고 있다.

발전 부문은 공급산업으로 5조 5,034억 원을 발주하였으며 이 중 건설 18,011억 원(32.7%), 제조 22,803억 원(41.4%), 설계 3,588억 원(6.5%), 서비스 10,624억 원(19.3%)의 매출을 올렸다. 이로 인한 공급산업 고용인력은 22,355명으로 건설 2,738명(12.2%), 제조 8,057명(36.0%), 서비스 9,057명(40.5%)을 차지하고 있다. 여기서 주목할 것은 공급산업에서 매출은 19.3%이나 고용인력은 40.5%를 차지하고 있는 서비스 부문이다. 비 원자력발전 분야는 전체 매출 규모가 2015년 기준 약 16.1조 원이며, 이 중 산업 부문이 11조 8,000억 원으로 전체의 73.3%를 차지하고 의료(22.5%), 비파괴 및 기타(4.3%)로 구성된다. 하지만 인력은 전체 10.8

만 명으로 이중 의료 부문에 8만 1천 명이 종사하여 비중이 가장 크며(75.7%) 이어서 비파괴(7.1%), 일반산업(5.0%)으로 구성된다.

이러한 산업구조를 통해 원자력발전 분야보다 비 원자력발전 분야의 고용창출 효과가 훨씬 크다는 것을 알 수 있습니다. 또한 원전 건설의 간헐성과 집중 매출은 ‘매출 폭탄’이라 볼 수 있으며 이는 곧 유동성 악화의 원인이 된다. 반면 비원자력 발전 분야는 다양하고 포괄적인 지속가능 산업으로서 유망하다고 볼 수 있다. 특히 의료용 방사선 발생장치의 경우 매년 8천억 원 정도를 수입하고 있는데 산업 분야가 강한 우리나라가 이 장치를 매년 수입한다는 것은 원전에 집중하다 비 원자력발전 분야에 소홀한 결과로 볼 수 있다.

선진국들은 대형원전 건설의 축소로 인해 원전의 건설·운영 중심에서 가동 원전의 안전, 제염, 해체, 폐기물 분야 등으로 산업구조가 다변화되는 추세다. 미국, 독일, 일본은 자체 원전의 해체 경험과 독자적인 해체 기술을 보유하고 있는 것으로 판단된다. 또한 미국의 경우 원자력 분야에서 두드러지는 것은 소형모듈원전의 상용화 개발을 추진하고 있다는 점이다. 소형 모듈 원전은 기존 원전 건설에 수반되는 대형 투자와 건설 기간의 장기화로 VC Summer, Vogtle 원전 등에서 실패를 거듭함에 따라 대안으로 추진되고 있지만 상용화에서 성공한 사례는 아직 없다. 소형에 따른 안전성, 핵비확산성, 경제성 문제가 그대로 존재하기 때문이다. 우리나라에서도 소형 모듈 원자로를 개발하고 있긴 하나 개발 주체가 연구비를 받기 위해 사업성을 과장되게 홍보하는 것이 우려된다.

반면 비 원자력발전 분야는 미국, 일본을 중심으로 가속기 개발과 이를 이용한 다양한 응용 분야를 포함하여 해양, 우주, 의료, 환경, 신소재 등의 분야로 융복합이 확대되고 있는 것이 특징이다. 화성 탐사선에 원자력전지가 탑재되고 있고 대기오염 물질인 SOx, NOx 등을 제거하는 기술이 개발되고 있는 것 등이 이에 해당한다.

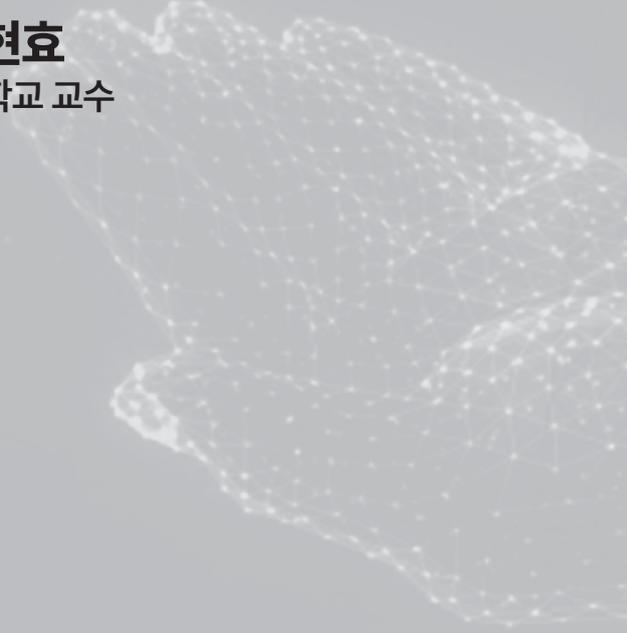
독일은 탈원전을 표방하고 기존의 가동 원전을 2022년까지 모두 영구적으로 가동정지하고 폐로를 준비하고 있다. 현재 가장 활발하게 원전해체가 진행되고 있다. 대표적 원전기업인 지멘스는 2000년대 초에 원전 사업 분야를 프랑스에 매각하고 일찌감치 신·재생에너지에 집중하여 지금은 활성화된 세계 재생에너지 시장의 풍력 분야에서 두드러진 활약을 하고 있습니다. 이는 시대를 앞서간 선택이었다고 볼 수 있다.

반면 웨스팅하우스를 인수하여 세계 원전시장을 주도할 것 같았던 도시바는 회사가 도산위기에 처해 웨스팅하우스를 캐나다 투자그룹에 넘기고 구조조정을 통해 겨우 회생할 수 있었다. 이 점은 기업이 미래 시장 지배요소를 미리 파악하고 대응하는 것이 얼마나 중요한 일인지를 명백하게 보여준다고 할 수 있다.

# 기후위기에 대응하는 전력·에너지산업 구조



패널토론  
**안현효**  
대구대학교 교수



(2023.07.07.) 토론문

## 기후위기에 대응하는 전력/에너지 산업구조

안현효(대구대학교 교수)

### 1. 기후위기와 범세계적 대응

#### 1) 2015 파리협정 (2016년 비준)

- 지구평균온도 1.5°C 목표
- 각국은 목표달성을 위해 매 5년마다 NDC(Nationally Determined Contribution) 제출

#### 2) IPCC, 2018, 지구온난화 1.5 °C 특별 보고서

- 2050년까지 탄소중립(Net-Zero)목표 제시
- 2030년까지 2010년 기준 CO2 배출량을 45%감축
- 2 보다 1.5 상승시 해수면 10cm 더 낮아져
- 비 CO2배출물도 저감해야 함: 메탄, 에어로졸 등
- 세계 128개국 탄소중립 선언

### 2. 기후위기에 대한 선진국의 대응

#### 1) EU 그린 딜

#### 2) 미국 IRA

#### 3) 일본 GX

### 3. 우리나라의 대응

#### 1) 기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법(2022.3.25. 시행)

- 세계 14번째 2050 탄소중립 비전과 이행체계 법제화
- 온실가스 감축, 기후위기 적응, 정의로운 전환, 녹색성장

#### 2) NDC 상향 과정

- 2015.6 : BAU 기준 37%
- 2020.12: 2017년 기준 24.4% (2018년 기준 26.3%)
- 2021.9: 2018년 대비 40% 감축안

§2030년 배출량 436.6백만톤

- 전환(발전) 부문: 탈 탄소, 재생에너지 확대
- 수송 부문: 친환경차 450만대
- 기타 배출 영역: 산업, 건물, 농축산, 폐기물, 수소 => 에너지효율화
- 흡수 및 제거 영역: 흡수원, CCUS
- 향후 과제: NDC 상향이 GDP 및 고용에 미치는 영향 분석
- 가격을 통한 수요관리 및 탄소세 등

3) 1차 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획(2023.4)

- 전환부문 원전 확대, 재생에너지 감축
- 산업부문 감축 축소, CCUS 증대, 국제감축 증가

4) 10차 전력기본계획

- 2030 신재생 20% 수준으로 하향

### 10차전기본전원별 발전량비중 전망

단위: %, 신재생은 태양광·풍력 출력제어 후 발전량 비중



자료: 산업통상자원부

The JoongAng

< 연도별 전원구성(연말 실효용량기준, 피크기여도 반영) 전망 (단위 : GW) >

연도	구분	원자력	석탄	LNG	신재생	양수	기타	계
2023	용량	26.1	39.7	43.5	6.1	4.7	1.0	121.1
	비중	21.5%	32.8%	35.9%	5.1%	3.9%	0.8%	100%
2026	용량	28.9	37.2	52.4	7.9	4.7	0.4	131.5
	비중	21.9%	28.3%	39.8%	6.0%	3.6%	0.4%	100%
2030	용량	28.9	31.3	58.6	10.5	5.2	0.5	135.0
	비중	21.4%	23.2%	43.4%	7.8%	3.9%	0.3%	100%
2033	용량	31.7	29.3	62.0	12.3	5.8	0.5	141.6
	비중	22.3%	20.7%	43.8%	8.7%	4.1%	0.4%	100%
2036	용량	31.7	26.7	64.6	14.5	6.5	0.5	144.5
	비중	21.9%	18.5%	44.7%	10.0%	4.5%	0.4%	100%

\* 기타는 유류, 폐기물, 부생가스 설비, 기타 저장장치 등

#### 4. 전환의 비용과 편익

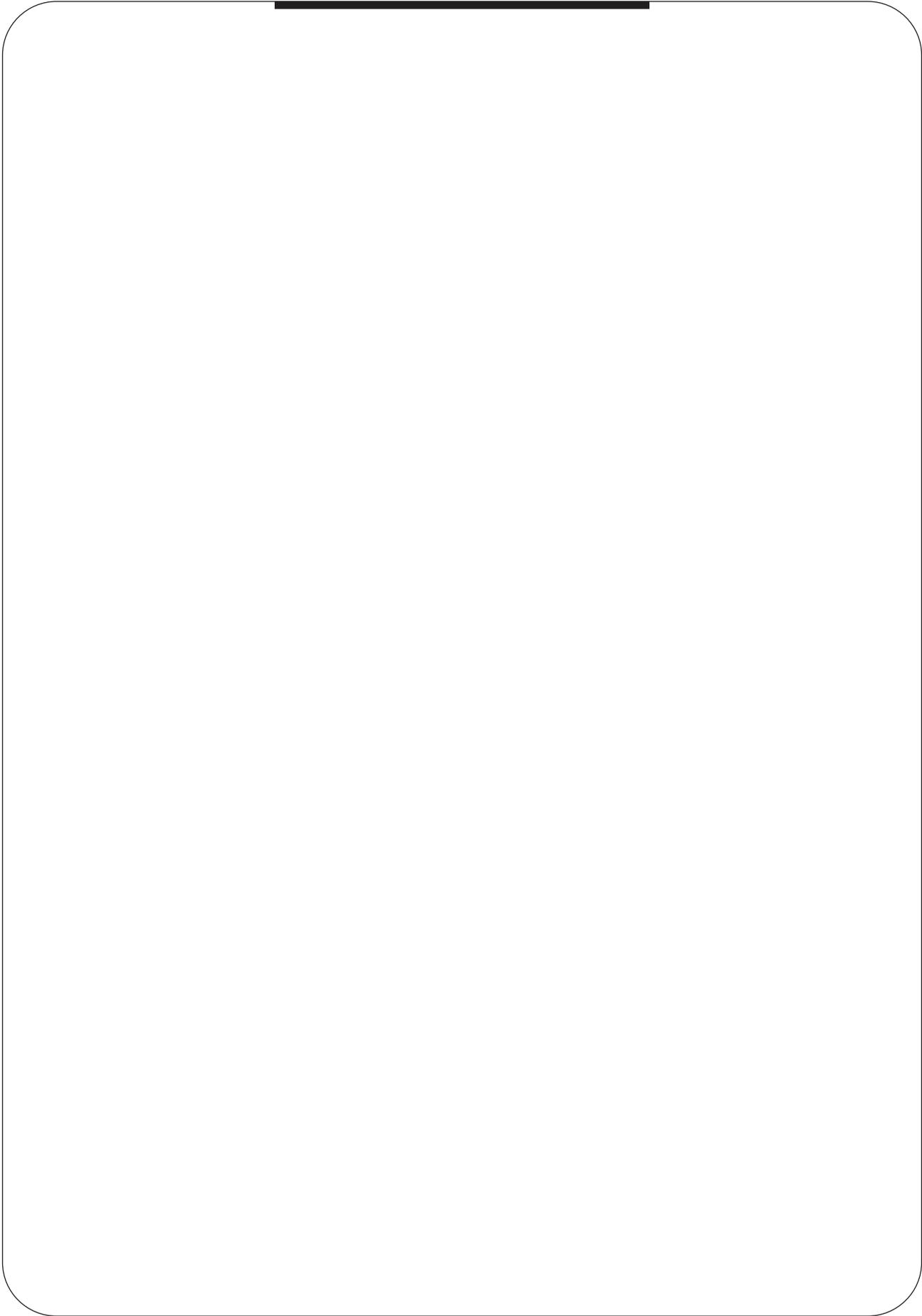
- 1차 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획 예산(2023~2027, 5년간) 89.9 조원
- IEA의 추정에 의하면 현재 GDP의 2.5% 수준 => 2030년 GDP의 4.5%까지 증가 필요
- 한국의 경우 GDP의 2.5%는 50조원 \* 5년 = 250 조원 => 4.5%라면 450 조원 (5년 간)
- 필요 투자 부문: 계통, 전기/수소차 확대 및 EE, 수소, ESS, CCUS 등 관련 기술 개발

#### 5. HQ와 효율적 산업구조

- 1) 제도: 에너지 가격 구조의 현실화, 특히 전력 가격 체계
  - 전력가격 체계를 정상화하기 위한 정치적 전략으로서 탄소세 및 탄소배당 정책
- 2) 투자: 에너지 전환을 위한 대규모 공공 투자 및 통합적 접근의 필요
  - 에너지 관련 공공부문의 활용 : 계통 투자의 확대, 대규모 태양광 및 풍력 발전, 수소와 결합한 가스산업 발전에의 대규모 재정 투자 (기후 채권)
  - 민간 투자 및 공공 영역 투자의 합리적 배치
- 3) 전력/에너지 산업구조
  - 전력 산업 구조 효율화를 위한 전력산업구조개편의 재검토: SO 기능의 한전 통합으로 계통 투자 확대 및 계통 안정화, 발전자회사의 통합을 통한 정의로운 전환 달성
  - 에너지 관련 공기업의 통합: 전력, 가스, 석유 등 에너지 관련 기업들의 합종연횡을 통한 효율적 에너지 정책의 구사



# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. The box is centered on the page and occupies most of the vertical space below the title. The corners are rounded, and the interior is completely blank.

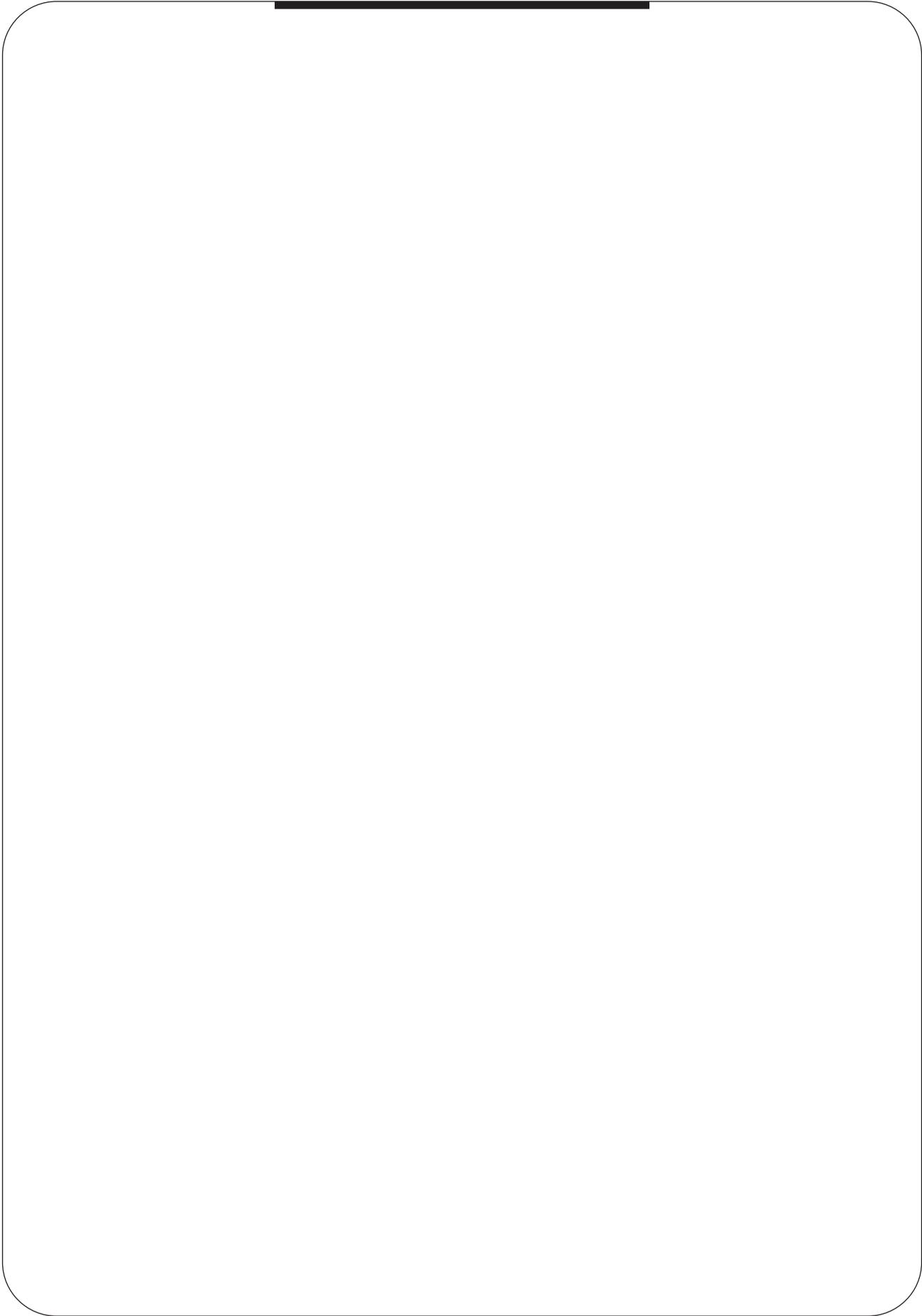
# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. The box is centered on the page and occupies most of the vertical space below the title. The corners are smoothly rounded. There is a thick black horizontal line at the top edge of the box, just below the title, which might represent a clip or a separator.

# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. The box is centered on the page and occupies most of the vertical space below the title. The corners are smoothly rounded. There is a thick black horizontal line at the top center of the box, just below the title, which might represent a clip or a separator.

# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. The box is centered on the page and occupies most of the vertical space below the title. The corners are smoothly rounded. There is a thick black horizontal line at the top edge of the box, just below the title, which might represent a clip or a separator.

# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. A thick black horizontal line is positioned at the top edge of the box, just below the 'memo' header.

# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. The box is centered on the page and occupies most of the vertical space below the title. The corners are smoothly rounded. There is a small, thick black horizontal line at the top center of the box, just below the title, which might represent a clip or a decorative element.

# memo

A large, empty rounded rectangular box with a thick black horizontal line at the top, serving as a memo template. The box is centered on the page and has a clean, minimalist design.

# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. The box is centered on the page and occupies most of the vertical space below the title. The corners are smoothly rounded. There is a thick black horizontal line at the top edge of the box, just below the title, which might represent a clip or a separator.

# memo

A large, empty rounded rectangular box with a thick black horizontal line at the top, serving as a memo template. The box is centered on the page and has a clean, minimalist design.

# memo

A large, empty rounded rectangular box with a thick black horizontal line at the top, serving as a memo template. The box is centered on the page and has a clean, minimalist design.

# memo

A large, empty, rounded rectangular box with a thin black border, intended for writing a memo. The box is centered on the page and occupies most of the vertical space below the title. The corners are smoothly rounded. There is a thick black horizontal line at the top center of the box, just below the title, which might represent a clip or a separator.